低剂量玉米赤霉烯酮和吸附剂对育成期蛋鸡生长性能、血清生化指标和抗氧化指标的影响

伍宇超　杨维仁*　杨在宾　姜淑贞　张桂国　姜新超

（山东农业大学动物科技学院，泰安 271018）

摘　要：本试验旨在研究低剂量玉米赤霉烯酮（ZEA）对育成期蛋鸡生长性能、血清生化指标和抗氧化指标的影响，同时评价改性蒙脱石吸附剂（Calibrin-A，CA）的脱毒效果。选取 70 日龄海兰褐蛋鸡 720 只，随机分为 4 组，每组 5 个重复，每个重复 36 只鸡。对照组饲喂基础饲粮，试验 1 组在基础饲粮的基础上添加 0.15%的 CA，试验 2 组用自然霉变的玉米蛋白质粉代替基础饲粮中的玉米蛋白质粉，并通过纯 ZEA 调整饲粮毒素水平（ZEA=0.4 mg/kg），试验 3 组在试验 2 组的基础上添加 0.15%的 CA。预试期 7 d，正试期 49 d。结果表明：1）低剂量 ZEA 和 CA 对育成期蛋鸡的生长性能没有显著影响（P>0.05）。2）低剂量 ZEA 显著提高育成期蛋鸡试验第 25 天血清中低密度脂蛋白（LDL）、胆固醇和尿酸的浓度（P<0.05），添加 CA 能显著降低其血清中 LDL、胆固醇和尿酸的浓度（P<0.05）。3）低剂量 ZEA 显著降低育成期蛋鸡血清中谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）（第 25 天和第 47 天）和总超氧化物歧化酶（T-SOD）（第 47 天）活性（P<0.05），显著升高血清中丙二醛（MDA）（第 25 天和第 47 天）含量（P<0.05）；与低剂量 ZEA 组相比，添加 CA 显著升高育成期蛋鸡血清中 GSH-Px（第 47 天）和 T-SOD（第 47 天）活性（P<0.05），显著降低血清中 MDA（第 25 天和第 47 天）含量（P<0.05）。由此可见，饲粮中 0.4 mg/kg 的 ZEA 没有影响育成期蛋鸡的生长性能，但显著影响其血清生化指标和抗氧化指标，ZEA 组添加 CA 对血清指标具有显著的改善作用。

关键词：育成期蛋鸡；玉米赤霉烯酮；吸附剂；生长性能；代谢；抗氧化

中图分类号：S816.9；S831.5　　文献标识码：A　　文章编号：1006-267X(2016)00-0000-00

玉米赤霉烯酮（zearalenone，ZEA）又称 F-2 毒素[1]，是由镰刀菌产生的、具有类雌激素活性的真菌毒素，我国北方玉米受此类毒素的污染较为严重[2]。研究表明，ZEA 及其代谢产物能够引起很多动物的真菌毒素中毒症[3-5]，猪尤为敏感。低剂量 ZEA（3 mg/kg）对断奶仔猪生长性能没有影响[6-7]。也有研究表明饲粮中含 1 mg/kg 的 ZEA 会增加断奶仔猪的平均日增重（ADG），对平均日采食量（ADFI）和饲料转化率（FCR）没有影响[8]。但是 1.5 mg/kg BW 的 ZEA 就可以影响雌性大鼠肝细胞的功能，干扰血液参数[9]。ZEA 诱导的肝脏应激导致脂类分泌受到抑制[10-11]。ZEA 在 1~10 μg/mL 范围内，导致原代培养的肠上皮细胞内谷胱甘肽（glutathione，GSH）含量降低，超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）活性下降，丙二醛（malonaldehyde，MDA）产生增加，并存在明显的剂量反应关系[12]。动物生产中吸附饲粮霉菌毒素最有效的方法是添加蒙脱石吸附剂，体外试验、鼠和猪的动物试验均已经证实蒙脱石吸附剂能够有效吸附 ZEA[13-15]。国内外有关 ZEA 的大量研究主要集中在猪和小鼠上，低剂量 ZEA（0.4 mg/kg）对育成期蛋鸡毒性影响的研究尚未见报道。本试验旨在研究低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡生长性能、血清生化指标和抗氧化指标的影响，同时评价改性蒙脱石吸附剂对 ZEA 毒性的缓解作用，为蛋鸡生产提供参考依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

ZEA：本试验开始前，抽取山东省泰安、济南、聊城和菏泽 4 个城市 121 个不同玉米产品进行霉菌毒素检测，选取只含低剂量 ZEA 的玉米蛋白质粉（粗蛋白质含量 51.1%；ZEA 含量 1.3 mg/kg）作为试验材料，同时用 ZEA 纯品（以色列 Fermentek 公司生产，纯度保证值为 98%）调整饲粮 ZEA 浓度到 0.4 mg/kg。

吸附剂（Calibrin-A，CA）：为焙烧改性蒙脱石吸附剂，美国 Oil-Dri 公司提供。

1.2　试验动物与饲养管理

选取 70 日龄、健康、平均体重(1.07±0.02) kg 的海兰褐蛋鸡 720 只，随机分成 4 组，每组 5 个重复，每个重复 36 只鸡，各组间初始体重差异不显著（P>0.05）。对照组（Contr.）饲喂基础饲粮，试验 1 组（对照+吸附剂组，Contr.+CA）在基础饲粮的基础上添加 0.15%的 CA，试验 2 组（毒素组，Mycot.）用自然霉变的玉米蛋白质粉全部代替基础饲粮中

收稿日期：2015－08－31

作者简介：伍宇超（1992—），男，湖南永州人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: 18853819620@163.com

*通信作者：杨维仁，教授，硕士生导师，E-mail: wryang@sdau.edu.cn

的玉米蛋白质粉配制而成（ZEA=0.4 mg/kg），试验 3 组（毒素+吸附剂组，Mycot.+CA）在试验 2 组的基础上添加 0.15% 的 CA。预试期 7 d，正试期 49 d。试验基础饲粮参考 NRC（1994）标准配制，饲粮组成及营养水平见表 1。试验蛋鸡采用双向阶梯式鸡笼进行饲养，自由采食和饮水，按正常免疫程序进行免疫接种。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
玉米 Corn	68.20
豆粕 Soybean meal	15.00
麸皮 Wheat bran	6.10
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	5.70
预混料 Premix[1)]	5.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
代谢能 ME/(MJ/kg)	11.91
粗蛋白质 CP	15.57
赖氨酸 Lys	0.75
蛋氨酸 Met	0.30
钙 Ca	0.80
总磷 TP	0.60
食盐 NaCl	0.15

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diet：VA 6 250 IU，VD_3 2 250 IU，VE 19 IU，VK_3 1.4 mg，VB_1 7.2 mg，VB_2 10.5 mg，VB_6 3.5 mg，VB_{12} 0.027 mg，泛酸 pantothenic acid 7.2 mg，烟酸 niacin 30 mg，氯化胆碱 choline chloride 500 mg，叶酸 folic acid 1 mg，生物素 biotin 0.32 mg，Ca 150 g，P 25 g，Fe 100 mg，Mn 80 mg，Cu 10 mg，Zn 70 mg，I 0.3 mg，Se 0.1 mg。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3　血样的采集与处理

在试验第 25 天和第 47 天，各组每个重复随机选取 6 只鸡进行翅静脉采血，将用真空促凝管采集的血样 30°倾斜放置于 37 ℃水浴锅 10 min，再转入离心机 3 000 r/min 离心 10 min，分离血清，－20 ℃保存，待测定血清生化指标和抗氧化等指标。

1.4　检测指标与方法

1.4.1　饲粮中毒素的检测

采用免疫亲和柱层析净化，以液相色谱法荧光检测器测定 ZEA 和黄曲霉毒素的含量，外标法定量。采用免疫亲和层析净化高效液相色谱－串联质谱法，以液相色谱结合紫外检测器测定烟曲霉毒素和呕吐毒素的含量，外标法定量。ZEA、黄曲霉毒素、烟曲霉毒素和呕吐毒素的最低检测限为分别为 0.1 mg/kg、1.0 μg/kg、0.25 mg/kg 和 0.1 mg/kg，试验各组霉菌毒素含量见表 2。

表 2　饲粮中霉菌毒素含量实测值

Table 2　The measured mycotoxin contents in diets　　μg/kg

霉菌毒素 Mycotoxins	对照组 Contr.	对照+吸附剂组 Contr.+CA	毒素组 Mycot.	毒素+吸附剂组 Mycot.+CA
玉米赤霉烯酮 Zearalenone	—	—	400.00	387.00
黄曲霉毒素 Aflatoxin	1.53	1.47	2.34	1.67
烟曲霉毒素 Fumonisin	—	—	—	—
呕吐毒素 Deoxynivalenol	—	—	—	—

1.4.2　生长性能指标

试验间期以重复为单位，每周记录蛋鸡的采食量和体重，用于计算蛋鸡 ADG、ADFI 和料重比(F/G)。

1.4.3　血清生化指标

采用 COBAS MIRA Plus 全自动生化分析仪测定血清生化指标总蛋白、胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白（HDL）、

低密度脂蛋白（LDL）和尿酸浓度，所需试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。

1.4.4　血清抗氧化指标

总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性根据黄嘌呤氧化酶法（羟胺法）测定，根据化学比色法测定谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）的活性，根据比色法测定 MDA 含量，T-SOD 活性测试试剂盒（A001-1）、GSH-Px 活性测试试剂盒（A005）和 MDA 含量测试试剂盒（A003）购于南京建成生物工程研究所。

1.5　数据统计分析

试验数据采用 SAS 9.2 软件进行统计，用双因素方差分析（double-factor ANOVA）进行统计分析，用 Duncan 氏法进行多重比较，显著性水平为 $P<0.05$。

2　结果与分析

2.1　生长性能

低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡生长性能的影响见表 3。由表可知，低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡的 ADG、ADFI 和 F/G 没有显著影响（$P>0.05$）；添加 CA 不显著影响育成期蛋鸡的生长性能（$P>0.05$）；ZEA 与 CA 对育成期蛋鸡生长性能指标没有显著的交互作用（$P>0.05$）。

表 3　低剂量 ZEA 和吸附剂对育成期蛋鸡生长性能的影响

Table 3　Effects of ZEA and adsorbent on growth performance of growing-laying hens

项目 Items	对照组 Contr.	对照+吸附剂组 Contr.+CA	毒素组 Mycot.	毒素+吸附剂组 Mycot.+CA	SEM	*P* 值 *P*-value		
						处理 Treatment	有无吸附剂 No CA vs. with CA	毒素×吸附剂 Mycot.×CA
平均日采食量 ADFI/g	80.47	80.99	81.29	80.07	0.06	0.362	0.513	0.108
平均日增重 ADG/g/d	13.34	13.61	13.47	13.32	0.02	0.479	0.685	0.170
料重比 F/G	5.99	5.95	6.04	5.96	0.06	0.736	0.340	0.737

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），无字母或相同字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2　血清生化指标

由表 4 可知，试验第 25 天时，与对照组相比，低剂量 ZEA 组育成期蛋鸡血清中 LDL、胆固醇和尿酸浓度显著升高（$P<0.05$）；添加 CA 显著降低 ZEA 组蛋鸡血清中的 LDL、胆固醇和尿酸浓度（$P<0.05$），但总蛋白、甘油三酯和 HDL 浓度差异不显著（$P>0.05$）。低剂量 ZEA 和 CA 不显著影响试验第 47 天蛋鸡血清生化指标指标（$P>0.05$）。ZEA 与 CA 对试验第 25 天育成期蛋鸡的血清胆固醇浓度具有显著的交互作用（$P<0.05$）。

表 4　低剂量 ZEA 和吸附剂对育成期蛋鸡血清生化指标的影响

Table 4　Effects of ZEA and adsorbent on serum biochemical indices of growing-laying hens

项目 Items	对照组 Contr.	对照+吸附剂组 Contr.+CA	毒素组 Mycot.	毒素+吸附剂组 Mycot.+CA	SEM	*P* 值 *P*-value		
						处理 Treatment	有无吸附剂 No CA vs. with CA	毒素×吸附剂 Mycot.×CA
第 25 天 On day 25								
总蛋白 Total protein/(g/L）	44.80	44.43	44.71	45.37	0.45	0.513	0.752	0.260
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	1.45	1.46	1.42	1.55	0.04	0.174	0.102	0.514
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	0.31^{b}	0.29^{b}	0.35^{a}	0.30^{b}	0.01	0.017	0.016	0.101

胆固醇 Cholesterol(mmol/L)	2.42[b]	2.50[b]	2.69[a]	2.52[b]	0.05	0.010	0.533	0.025
甘油三酯 Triglyceride/(mmol/L)	0.44	0.43	0.41	0.46	0.04	0.852	0.551	0.515
尿酸 Uric acid/(μmol/L)	270.43[b]	244.71[b]	302.71[a]	266.71[b]	11.54	0.003	0.007	0.593
第 47 天 On day 47								
总蛋白 Total protein/(g/L)	53.27	51.77	52.71	52.27	1.15	0.820	0.390	0.651
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	2.05	2.03	1.89	1.98	0.07	0.355	0.601	0.469
低密度脂蛋白 LDL/(mmol/L)	0.75	0.74	0.79	0.75	0.04	0.742	0.163	0.773
胆固醇 Cholesterol/(mmol/L)	3.64	3.58	3.63	3.42	0.09	0.345	0.156	0.441
甘油三酯 Triglyceride/(mmol/L)	0.54	0.49	0.57	0.56	0.08	0.889	0.696	0.853
尿酸 Uric acid/(μmol/L)	205.86	195.00	212.14	206.43	11.01	0.738	0.447	0.817

2.3 血清抗氧化指标

由表 5 可知，与对照组相比，低剂量 ZEA 显著降低育成期蛋鸡血清中 GSH-Px（第 25 天和第 47 天）和 T-SOD（第 47 天）活性（P<0.05），而 MDA（第 25 天和第 47 天）含量则显著升高（P<0.05）。与低剂量 ZEA 组相比，添加 CA 显著升高了血清中 GSH-Px（第 47 天）和 T-SOD（第 47 天）活性，显著降低了 MDA（第 25 天和第 47 天）含量（P<0.05）。与对照组相比，添加 CA 对各项指标均无显著影响（P>0.05）。ZEA 与 CA 对试验第 47 天育成期蛋鸡血清 MDA 含量具有显著的交互作用（P<0.05）。

表 5 低剂量 ZEA 和吸附剂对育成期蛋鸡血清抗氧化指标的影响

Table 5 Effects of ZEA and adsorbent on serum antioxidant index of growing-laying hens

项目 Items	对照组 Contr.	对照+吸附剂组 Contr.+CA	毒素组 Mycot.	毒素+吸附剂组 Mycot.+CA	SEM	*P* 值 *P*-value		
						处理 Treatment	有无吸附剂 No CA vs. with CA	毒素×吸附剂 Mycot.×CA
第 25 天 On day 25								
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	2 488.19[a]	2 521.94[a]	2 315.61[b]	2 430.38[ab]	42.35	0.023	0.190	0.358
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	93.69	93.15	92.69	93.16	0.35	0.296	0.922	0.128
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	5.18[b]	5.08[b]	5.44[a]	5.11[b]	0.27	0.003	0.011	0.067
第 47 天 On day 47								
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	2 705.06[a]	2 740.93[a]	2 507.25[b]	2 659.92[a]	30.05	<0.001	0.075	0.076
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mL)	106.13[a]	106.84[a]	103.81[b]	105.89[a]	0.52	0.008	0.057	0.209
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	6.21[b]	6.12[b]	6.46[a]	6.15[b]	0.05	<0.001	0.007	0.033

3 讨 论

关于 ZEA 的研究，有采用直接添加 ZEA 纯毒素进行[14]，有些则采取已知 ZEA 含量的自然霉变饲粮进行[16]，但自然霉变的饲粮中通常含有 ZEA 以外的一种或多种毒素，对 ZEA 毒性的研究会产生一定的影响。本试验饲料选择只含 ZEA 的霉变玉米蛋白质粉和 ZEA 纯毒素配制成，经检测除低剂量 ZEA 外，还有远低于饲料卫生标准限量的黄曲霉毒素，因此，试验饲粮可以用于研究 ZEA 对育成期蛋鸡毒性的影响。

3.1 低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡生长性能的影响

本试验结果表明，自然霉变玉米蛋白质粉中低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡 ADFI、ADG 和 F/G 均无显著影响。Marin 等[17]研究表明，小猪饲喂含 ZEA（316 μg/kg）的全价饲粮对其体重、ADG 和 ADFI 均无影响；Nikaido 等[18]用 ZEA（0.1 或 10 mg/kg BW）对雌性青春期前大鼠进行饲喂，发现大鼠体重并没有变化，与本试验结果一致。但也有研究表明，随着饲粮中 ZEA 含量的升高，仔猪的 ADG、ADFI 和 FCR 均降低[19]，仔猪饲料效率随 ZEA 添加量的增加而线性增加[20]。出现这种情况，可能与 ZEA 的含量、试验时间和试验动物有关。

3.2 低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡血清生化指标的影响

本研究表明，含 0.4 mg/kg ZEA 的毒素组育成期蛋鸡血清中胆固醇升高，推测原因可能是因为肝细胞受到损伤。这与孙美乐等[21]研究 ZEA 对体外培养大鼠肝细胞有损伤作用一致。Ojeda[22]试验也证明了 ZEA 的雌激素拮抗作用，而雌激素可以增加甘油三酯的合成和脂肪沉积，降低胆固醇的循环水平。本试验第 25 天 ZEA 毒素组尿酸升高，而血清中尿酸浓度主要受肾功能、蛋白质摄入量和分解代谢情况的影响，因此可以推测，低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡的肾脏也具有一定毒性，这与在大鼠上的研究一致[23]，但是尚需进一步的肾脏免疫组化结果证实。但随着试验时间的增加（试验第 47 天），ZEA（0.4 mg/kg）对育成期蛋鸡血清生化指标的影响不再显著，推测可能是本试验条件下的育成期蛋鸡对 ZEA 具有自身调节机能，但是尚需重复试验证实。

3.3 低剂量 ZEA 对育成期蛋鸡血清抗氧化指标的影响

生物机体在正常生命代谢中会产生超氧阴离子自由基（•O^{2-}），由此引起脂质过氧化反应，影响机体的氧化和抗氧化平衡，可能还会改变体内的重要代谢过程如细胞膜代谢、蛋白质生物合成与糖酵解[24]。而 T-SOD、GSH-Px 和过氧化氢酶（CAT）是机体细胞内清除自由基的主要内源抗氧化物酶[25]，且 T-SOD 广泛存在于生物体的各种组织中，能够清除 O^{2-}，同时，脂质过氧化反应的最终产物是 MDA[22]。因此，GSH-Px、T-SOD 活性和 MDA 含量正常对于机体本身氧化和抗氧化平衡非常重要。研究证实，ZEA 对氧化损伤程度较大 [26-29]，2.0 和 3.2 mg/kg ZEA 组仔猪血清和肝脏中 SOD 和 GSH-Px 的活性显著低于对照组，MDA 含量则显著高于对照组[16]。本试验研究发现，到试验第 25 天，0.4 mg/kg ZEA 组育成期蛋鸡血清中 MDA 含量与对照组相比显著升高，而 GSH-Px 的活性显著降低；而随着试验时间的增加，0.4 mg/kg ZEA 组育成期蛋鸡血清中 T-SOD 和 GSH-Px 的活性显著低于对照组，MDA 含量高于对照组，与上述仔猪试验相符。也有试验证明，自然霉变的玉米能提高肝脏 SOD 活性[30]，可能原因是自然霉变玉米中毒素种类比较多，而各种毒素共同作用刺激了机体的自我调节，产生了更多的 SOD 以清除增加的 O^{2-}。

3.4 改性蒙脱石吸附剂对育期成蛋鸡的影响

研究表明，饲粮中添加沸石或活性炭对断奶仔猪的生长性能没有影响[31-32]。本试验结果也表明，饲粮中添加 0.15%的 CA 对育成期蛋鸡生长性能无显著影响，推测原因可能是饲料中添加 0.15%的 CA 对育成期蛋鸡的肠道不会产生影响，从而不影响其各种营养物质的吸收代谢。Yang 等[33]研究表明，肉鸡饲粮中添加 0.5%的蒙脱石吸附剂对其血清生化指标并没有影响，本试验研究表明饲粮中添加 0.15%的 CA 对育成期蛋鸡肝脏和血液代谢无显著影响；同时本试验结果也表明，添加 0.15%的 CA，试验第 25 天时霉变组中的血清指标 LDL、胆固醇和尿酸的含量得到明显改善。低剂量 ZEA（1.3 mg/kg）的饲粮中添加 1 或 2 kg/t 的改性蒙脱石 Calibrin-Z（CZ）对断奶仔猪血清抗氧化酶和 MDA 并不能起到改善作用，但有一定改善趋势，当 CZ 的添加量达到 4 kg/t 时能够对断奶仔猪血清中抗氧化酶和 MDA 起到改善作用[15]。本试验也证明了在含低剂量 ZEA 的饲粮中添加 0.15%的 CA 能增加育成期蛋鸡血清中 GSH-Px 和 T-SOD 的活性，降低 MDA 的含量，对育成期蛋鸡机体氧化平衡起到明显作用，与上述断奶仔猪试验基本一致。

4 结 论

本试验条件下：

① 0.4 mg/kg 的 ZEA 对育成期蛋鸡生长性能无显著影响。

② 0.4 mg/kg 的 ZEA 会增加育成期蛋鸡血清中 LDL、胆固醇和尿酸浓度，但随着试验时间的延长毒性逐渐削弱。

③ 0.4 mg/kg 的 ZEA 会降低育成期蛋鸡血清中 GSH-Px 和 T-SOD 活性，增加 MDA 含量，且随着试验时间增加毒性会逐渐积累。

④ 与对照组相比，饲粮中添加 0.15%的 CA 不影响育成期蛋鸡的生长性能、血清生化指标和抗氧化指标；与 ZEA

组相比，添加 0.15%的 CA 能对育成期蛋鸡血清生化指标和抗氧化起到显著的改善作用。

参考文献：

[1] 程传民,柏凡,李云,等.2013 年玉米赤霉烯酮在饲料原料中的污染分布规律[J].中国畜牧杂志,2014,50(16):68–72,77.

[2] YANG Z B,CHI F,张亮,等.玉米赤霉烯酮对仔猪的养分利用率的影响[J].饲料与畜牧,2012(11):47–48.

[3] KUIPER-GOODMAN T,SCOTT P M,WATANABE H,et al.Risk assessment of the mycotoxin zearalenone[J].Regulatory Toxicology and Pharmacology,1987,7(3):253–306.

[4] HUSSEIN H S,BRASEL J M.Toxicity,metabolism,and impact of mycotoxins on humans and animals[J].Toxicology,2001,167(2):101–134.

[5] 何学军,齐德生.玉米赤霉烯酮的毒性研究进展[J].中国饲料,2006(10):2–5.

[6] 赵虎,杨在宾,杨维仁,等.玉米赤霉烯酮对仔猪生产性能和内脏器官发育影响的研究[J].粮食与饲料工业,2008(10):37–38.

[7] ŠPERANDA M,LIKER B,ŠPERANDA T,et al.Haematological and biochemical parameters of weaned piglets fed on fodder mixture contaminated by zearalenone with addition of clinoptilolite[J].Acta Veterinaria,2006,56(2/3):121–136.

[8] 姚宝强,杨在宾,杨维仁,等.玉米赤霉烯酮及吸附剂对断奶仔猪生产性能、营养物质利用率和肌肉品质的影响[J].饲料工业,2009,30(13):20–24.

[9] KIESSLING K H,PETTERSSON H.Metabolism of zearalenone in rat liver[J].Acta Pharmacologica et Toxicologica,1978,43(4):285–290.

[10] HARRIS W S.Fish oils and plasma lipid and lipoprotein metabolism in humans:a critical review[J].Journal of Lipid Research,1989,30(6):785–807.

[11] WONG S H,NESTEL P J,TRIMBLE R P,et al.The adaptive effects of dietary fish and safflower oil on lipid and lipoprotein metabolism in perfused rat liver[J].Biochimica et Biophysica Acta,1984,792(2):103–109.

[12] 苏军.镰刀菌毒素对猪的抗营养效应及其机制研究[D].博士学位论文.雅安:四川农业大学,2008.

[13] FENG J L,SHAN M,DU H H,et al.*In vitro* adsorption of zearalenone by cetyltrimethyl ammonium bromide-modified montmorillonite nanocomposites[J].Microporous and Mesoporous Materials,2008,113(1/2/3):99–105.

[14] ABBÈS S,OUANES Z,SALAH-ABBÈS J B,et al.Preventive role of aluminosilicate clay against induction of micronuclei and chromosome aberrations in bone-marrow cells of Balb/c mice treated with zearalenone[J].Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis,2007,631(2):85–92.

[15] JANG S Z,YANG Z B,YANG W R,et al.Effect on hepatonephic organs,serum biochemical indices and oxidative stress in post-weaning piglets fed purified zearalenone-contaminated diets with or without Calibrin-Z[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2012,96(6):1147–1156.

[16] DÖLL S,GERICKE S,DÄNICKE S,et al.The efficacy of a modified aluminosilicate as a detoxifying agent in *Fusarium* toxin contaminated maize containing diets for piglets[J].Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition,2005,89(9/10):342–358.

[17] MARIN D E,PISTOL G C,NEAGOE L V,et al.Effects of zearalenone on oxidative stress and inflammation in weanling piglets[J].Food and Chemical Toxicology,2013,58:408–415.

[18] NIKAIDO Y,YOSHIZAWA K,DANBARA N,et al.Effects of maternal xenoestrogen exposure on development of the reproductive tract and mammary gland in female CD-1 mouse offspring[J].Reproductive Toxicology,2004,18(6):803–811.

[19] HORUGEL K,VERGARA H.Influence of mycotoxins on growth and onset of puberty in growing female pigs[J].Prakt Tierarzt,2003,84:611–614.

[20] JANG S Z,YANG Z B,YANG W R,et al.Effects of purified zearalenone on growth performance,organ size,serum metabolites,and oxidative stress in postweaning gilts[J].Journal of Animal Science,2011,89(10):3008–3015.

[21] 孙美乐,阚文宏,孟宪清,等.玉米赤霉烯酮对体外培养大鼠肝细胞的影响[J].中国地方病防治杂志,1997(2):69–70.

[22] OJEDA S R.Female reproductive function[C]//GRIFFIN J E,OJEDA S R.Textbook of physiology.Oxford:Oxford University Press,2000.

[23] JIA Z Q,LIU M,QU Z,et al.Toxic effects of zearalenone on oxidative stress,inflammatory cytokines,biochemical and pathological changes induced by this toxin in the kidney of pregnant rats[J].Environmental Toxicology and

Pharmacology,2014,37(2):580–591.
[24] LIU G M,YAN T,WANG J,et al.Biological system responses to zearalenone mycotoxin exposure by integrated metabolomic studies[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2013,61(46):11212–11221.
[25] MCCORD J M.Superoxide,superoxide dismutase and oxygen toxicity[M]//HODGSON E,BEND J R,PHILPOT R.Reviews in biochemical toxicology.Amsterdam:Elsevier,1979:109–124.
[26] SALAH-ABBÈS J B,ABBÈS S,ABDEL-WAHHAB M A,et al.*Raphanus sativus* extract protects against zearalenone induced reproductive toxicity,oxidative stress and mutagenic alterations in male Balb/c mice[J].Toxicon,2009,53(5):525–533.
[27] FREEMAN B A,CRAPO J D.Hyperoxia increases oxygen radical production in rat lungs and lung mitochondria[J].Journal of Biological Chemistry,1981,256(21):10986–10992.
[28] KOUADIO J H,DANO S D,MOUKHA S,et al.Effects of combinations of *Fusarium* mycotoxins on the inhibition of macromolecular synthesis,malondialdehyde levels,DNA methylation and fragmentation,and viability in Caco-2 cells[J].Toxicon,2007,49(3):306–317.
[29] ZOURGUI L,GOLLI E E,BOUAZIZ C,et al.Cactus (*Opuntia ficus-indica*) cladodes prevent oxidative damage induced by the mycotoxin zearalenone in Balb/C mice[J].Food and Chemical Toxicology,2008,46(5):1817–1824.
[30] 杨军.自然霉变玉米对肉鸡生长性能和健康影响及霉菌毒素残留研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2012.
[31] WARD T L,WATKINS K L,SOUTHERN L L,et al.Interactive effects of sodium zeolite-A and copper in growing swine:growth,and bone and tissue mineral concentrations[J].Journal of Animal Science,1991,69(2):726–733.
[32] PIVA A,CASADEI G,PAGLIUCA G,et al.Activated carbon does not prevent the toxicity of culture material containing fumonisin B1 when fed to weanling piglets[J].Journal of Animal Science,2005,83(8):1939–1947.
[33] YANG L C,ZHAO Z Y,DENG Y F,et al.Toxicity induced by *F. poae*-contaminated feed and the protective effect of montmorillonite supplementation in broilers[J].Food and Chemical Toxicology,2014,74:120–130.

Effects of Low Dose Zearalenone and Adsorbent on Growth Performance, Serum Biochemical and Antioxidant Indices of Growing-Laying Hens

WU Yuchao YANG Weiren* YANG Zaibing JIANG Shuzhen ZHANG Guiguo JIANG Xingchao
(*College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University, Tai'an* 271018, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of low dose of zearalenone on growth performance, serum biochemical and antioxidant indices of growing-laying hens, and the detoxification effect of adsorbent Calibrin-A (CA) was also evaluated. Seven hundred and twenty 70-day-old Hy-Line Brown laying hens were randomly divided into 4 groups with 5 replicates and 36 hens in each replicate. The control group was given the basal diet. The test group 1 was fed the basal diet with 0.15% CA. The test group 2 was fed the control diet in which corn gluten meal were replaced by naturally contaminated corn gluten meal (zearalenone=0.4 mg/kg). The test group 3 was fed the test group 2 diet with 0.15% CA. The experiment comprised 7 days of adaptation and 49 days of measurement period. The results showed as follows: 1) low dose of zearalenone and 0.15% CA had no significant effects on the growth performance of growing-laying hens (P>0.05). 2) Low dose of zearalenone significantly increased low density lipoprotein, cholesterol and uric acid concentrations on day 25 in the serum (P<0.05), and the addition of CA significantly decreased the low density lipoprotein, cholesterol and uric acid concentrations in the serum (P<0.05). 3) Low dose of zearalenone significantly decreased the activities of glutathione peroxidase (on day 25 and 47) and total superoxide dismutase (on day 47) (P<0.05), but the malondialdehyde content in the serum was significantly increased (on day 25 and 47) (P<0.05). Compared with low dose of zearalenone group, the addition of CA significantly increased the activities of glutathione peroxidase (on day 47) and total superoxide dismutase (on day 47) (P<0.05), and significantly decreased the malondialdehyde content in the serum (on day 25 and 47) (P<0.05). This experiment shows that 0.4 mg/kg zearalenone does not affect the growth performance of growing-laying hens, but it has significant effects on serum biochemical and antioxidant indices, and addition of CA can partly attenuate the detrimental effects of the zearalenone feeding.

Key words: growing-laying hens; zearalenone; adsorbent; growing performance; metabolism; antioxidant

*Corresponding author, professor, E-mail: wryang@sdau.edu.cn

(责任编辑　田艳明)